



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 43 18 818 C 2

⑤① Int. Cl. 6:
H 01 M 8/04

②① Aktenzeichen: P 43 18 818.4-45
②② Anmeldetag: 7. 6. 93
④③ Offenlegungstag: 8. 12. 94
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 4. 5. 95

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:

Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,
DE

⑦② Erfinder:

Fleck, Wolfram, Dipl.-Ing., 88048 Friedrichshafen, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

| | |
|----|--------------|
| DE | 40 32 993 C1 |
| DE | 26 04 966 C2 |
| DE | 42 01 795 A1 |
| DE | 40 21 097 A1 |
| US | 47 38 903 |
| EP | 01 84 541 A1 |

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Bereitstellung von konditionierter Prozessluft für luftatmende
Brennstoffzellensysteme

DE 43 18 818 C 2

DE 43 18 818 C 2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bereitstellung von konditionierter Prozeßluft für den Betrieb luftatmender Brennstoffzellensysteme gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

5 Aus der DE 40 21 097 ist ein Brennstoffzellensystem bekannt, bei dem die Prozeßluft mit Hilfe eines oder mehrerer Verdichter vor dem Eintritt in die Brennstoffzelle komprimiert wird. Nach dem Durchströmen der Brennstoffzelle wird die abgeführte Abluft zur Energierückgewinnung über eine Turbine entspannt, wobei die Turbine, der Verdichter und ein zusätzlicher Getriebemotor auf einer gemeinsamen Welle angeordnet sind. Der Nachteil dieser Anordnung liegt darin, daß weder der Luftvolumenstrom noch der Betriebsdruck der Prozeßluft
10 unabhängig voneinander verändert werden kann.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verbesserung des Wirkungsgrades und der Leistungsdichte eines luftatmenden Brennstoffzellensystems in allen Betriebsbereichen bei gleichzeitiger Minimierung des Energieaufwands für die Luftverdichtung zu schaffen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 beziehungsweise 8 gelöst.

Insbesondere ist die Erfindung für den Einsatz in Brennstoffzellensystemen mit protonenleitender Elektrolytmembran (PEM-Technik) geeignet. Es kann sich dabei um mobile und stationäre Brennstoffzellensysteme handeln, wie z. B. für den Einsatz im Kraftfahrzeug (Kfz) und Bahnsystemen sowie für die dezentrale Stromversorgung.

20 Der Wasserstoff, notwendig für die Reaktion, wird über ein getrenntes System zugeführt. Die Luft wird im Druck und Volumenstrom sowie in der Temperatur und Feuchte beeinflusst. Luft wird der Kathode, Wasserstoff der Anode zugeführt. Bei der Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff entstehen neben der erzeugten elektrischen Energie auch Produktwasser und Reaktionswärme. Produktwasser und Reaktionswärme werden zu einem großen Teil mit der Prozeßluft aus dem Brennstoffzellensystem abtransportiert.

25 Um einen hohen Wirkungsgrad und große Leistungsdichte im System zu erzielen, muß die Brennstoffzelle bei möglichst hohem Druck und mit befeuchteten Gasen betrieben werden. Um dies zu gewährleisten muß z. B. die vom Verdichter bereitgestellte Prozeßluft mit dem niedrigst möglichen Energieaufwand erzeugt werden. Ein Optimum an Leistungsabgabe des Brennstoffzellensystems wird dann erreicht, wenn der Luftüberschuß und der Betriebsdruck an die jeweilige Brennstoffzellen-Konfiguration angepaßt wird. Des weiteren muß der Verdichter
30 über eine hohe Drehzahlspannweite verfügen, sowie über einen hohen Wirkungsgrad im gesamten Drehzahlbereich.

Aufgrund der bei der Kompression entstehenden Wärme, insbesondere bei höheren Druckverhältnissen, wird eine Luftvorkühlung notwendig, die durch Einspritzen von Wasser erreicht werden kann und gleichzeitig die erforderliche Befeuchtung der Luft gewährleistet.

35 Der Arbeitsaufwand für den Kompressor/Verdichter steigt quadratisch mit dem Druck (Förderhöhe) und proportional mit dem geförderten Massenstrom. Die Verdichterleistung steigt mit der dritten Potenz zum Volumenstrom der Luft. Mit zunehmenden Luftdruck und Luftüberschußverhältnis, nimmt die erzeugte Brennstoffzellenleistung bei gleicher Strombelastung zu.

Um den notwendigen Betriebsdruck aufbauen zu können, benutzt man üblicherweise ein Druckhalteventil, welches den Betriebsdruck aufbaut und die Abluft der Reaktion ins Freie abbläst (Vordruckregler, Drossel oder Domdruckregler). Die Druckenergie, die dem Medium aufwendig zugeführt wird, geht bei dieser Verfahrenswei-
40 se ungenutzt über die Systemgrenze verloren.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines schematischen Fließbildes näher erläutert.

Mittels eines Filters 2 wird die Luft aus der Umgebung 4 angesaugt und dem Verdichtereinlauf 6 zugeführt.
45 Die Luft wird verdichtet und danach mit Wasser gemischt. Das Wasser wird mittels einer Einspritzpumpe 8 genau dosiert zugeführt. Die Wassertropfen werden durch die Abwärme der Kompression verdampft 10. Hierbei sinkt entsprechend der Menge des eingespritzten Wassers die Gasgemischtemperatur auf den erforderlichen Eingangswert für die Brennstoffzelle 12. Ein sonst zur Anpassung von Verdichteraustrittstemperatur und Brennstoffzellen-Betriebstemperatur notwendiger Luftvorkühler entfällt dadurch. Wird das Wasser vor der
50 Verdichtung eingespritzt (im Saughub), läßt sich die Verdichterleistung um weitere 6% bis 8% vermindern.

Das teilbefeuchtete Gas tritt nun in die Befeuchtereinheit 14 der Brennstoffzelle ein und wird den Erfordernissen der Brennstoffzelle gemäß weiter aufbereitet.

Beim Verlassen der Brennstoffzelle ist der Luftstrom um den konsumierten Sauerstoffanteil reduziert. Gleichzeitig steigt der Wasserdampfanteil durch den Produktwasseranteil, der bei der H_2/O_2 -Reaktion freigesetzt wird,
55 an. Das Gemisch aus feuchter Luft und Wassertropfen wird einer Expanderstufe 16 zugeführt, welcher ein Flüssigkeitsabscheider 18 vorgeschaltet ist. Die Expanderstufe wandelt die noch vorhandene Druckenergie des Abgases in mechanische Arbeit um. Die auf diese Weise rückgewonnene Arbeit wird dem Verdichter direkt über eine Welle 20 zugeführt.

Am Expander-Austritt 22 befindet sich ein Wasserabscheider 24, welcher den flüssigen Anteil aus dem
60 Abluft/Wasserdampfgemisch abtrennt. Das gesammelte Kondensat kann dem System im Bedarfsfalle wieder zugeführt werden.

Ein Teil des Rückkondensats wird der Einspritzpumpe 8 zugeführt. Die Einspritzpumpe kann mechanisch von der Verdichtervelle angetrieben, oder elektrisch getrennt betrieben werden.

Expander und Verdichter basieren auf dem Verdrängerprinzip. Es handelt sich um spaltabdichtete Maschinen mit fettgeschmierten Wälzlagern für die Läufergruppen.
65

Der Verdichter basiert auf dem volumetrischen Pumpprinzip mit einer inneren Verdichtung (Reaktion des Rotationsfördervolumens während einer Umdrehung). So werden höchste Wirkungsgrade erreicht.

Fettgerüche werden direkt nach außen über das Getriebegehäuse 26 entlüftet, um eine Verunreinigung der

Kompressorluft zu vermeiden.

Auf diese Art und Weise wird eine Filtereinheit nach der Verdichtung vermieden. Der Expander arbeitet nach dem Gleichraumprinzip, kann aber auch nach dem üblichen Turbinenprozeß der polytropen Expansionsarbeit arbeiten (Erweiterung des Rotationsfördervolumens während einer Umdrehung). Verdichter und Expander befinden sich auf einer Welle. Der Expander ist so gestaltet, daß sich immer ein unterstützendes Moment auf die Verdichterwelle einstellt. Mit der richtigen Auswahl eines geeigneten Schluckvermögens (Expanderdurchsatzvermögen) des Expanderteiles kann der zu erreichende Enddruck bei entsprechendem Durchsatz gewählt werden.

Das gesamte Verfahren wird vorzugsweise mit einer innenachsigen Drehkolbenmaschine realisiert. Verdichter und Expander sind in einem Gehäuse integriert. Der Startermotor 28 sowie der Hauptantrieb 30 werden angeflanscht.

Damit beim speziellen Einsatz von Verdrängermaschinen während des Teillastbetriebes der Expander kein negatives Moment auf den Verdichter ausüben kann, befindet sich vor der Turbine eine Klappe 32, die bei Unterdruck vor dem Expander Luft von außen ansaugt. Sobald der Druck vor dem Expander steigt, wird diese Klappe vom Innendruck automatisch geschlossen und der Expander gibt Arbeit an den Verdichter ab.

Regelung und Teillastverhalten

Das energiesparende Betreiben eines Brennstoffzellensystems wird durch Anpassen der Luftmenge bewerkstelligt. Nach dem Faraday'schen Gesetz ist der Sauerstoffbedarf proportional zum Strom, welcher sich bei entsprechender Lastanforderung einstellt. Um einen sicheren Betrieb der Brennstoffzelle zu erzielen, muß man den Sauerstoff im Überschuß anbieten. Damit die Brennstoffzellen-Leistung variiert werden kann, ohne große Wirkungsgradverluste, benötigt man einen Verdichterantrieb, der sich gut drehzahlregeln läßt. Damit wird immer nur soviel Druckluft wie notwendig bereitgestellt.

Der Verdichter erhält seinen Antrieb durch einen permanent erregten Synchronmotor, der den Anforderungen entsprechend gut drehzahlregelt werden kann und einen hohen Wirkungsgrad gewährleistet. Die Versorgungsspannung des Motors wird durch den Spannungshub der Brennstoffzellen bei dynamischem Betrieb beeinflusst. Der Motorstromsteller regelt diese Schwankungen der Versorgungsspannung aus.

Die Drehzahl des Motors wird entsprechend dem Luftstrom geregelt. Der Luftstrom wird als eine Funktion des Brennstoffzellenstromes und dem notwendigen Überschußfaktor des Sauerstoffes in einer Kurve abgelegt. Dieser Funktionszusammenhang ermöglicht die Ermittlung des Sollwertes für die Volumenstromregelung. Der Luftvolumenstrom 34 wird nach dem Filter erfaßt (Istwert).

Der Brennstoffzellenstrom wird gemessen und mittels oben beschriebener Funktion der Sollwert des Volumenstromes ermittelt. Die Abweichung geht in eine Drehzahlregelung für den Motor ein.

Für die mobile Anwendung, insbesondere im Fahrzeugbereich, wird der Antriebsmotor mit einem Startermotor aktiviert. Der Kompressormotor wird von der Regelung freigeschaltet und kann, solange der Hilfsmotor arbeitet, frei mitlaufen. So ist es möglich den Kompressor mit einer üblichen Gleichspannungsversorgung in einen stabilen Betriebszustand zu befördern. Der stabile Betriebspunkt ist dadurch gekennzeichnet, daß ein für die Brennstoffzellen minimaler Betriebsdruck und ein minimaler Volumenstrom bereitgestellt wird, der eine Selbstversorgung des Brennstoffzellensystems gewährleistet. Danach schaltet sich der Starter ab und der Hauptantrieb wird aktiviert. Das Luftantriebssystem sowie das Brennstoffzellensystem befinden sich nun im Selbsthaltungsmodus, bei dem keine weitere Hilfsenergie, wie z. B. aus einer Batterie, benötigt wird.

Durch die geringen Trägheitsmomente der gesamten Luftversorgungseinheit (kompakter Motor und Verdichter sowie Expanderstufe) und die hohe Drehzahländerungsgeschwindigkeit des oben beschriebenen Elektromotors, gelingt es sehr kurze Reaktionszeiten zu verwirklichen, was eine sehr hohe Dynamik der Luftversorgung zur Folge hat. Die Hochlaufzeiten liegen im Bereich von 50 bis 100 ms. Diese Dynamik ermöglicht es, die Luftversorgung auch in stark und schnell schwankenden Stromerzeugungssystemen einzusetzen, wie sie z. B. im Fahrzeugbereich notwendig sind.

Abkürzungen

Deutsch

Englisch

| | | | |
|-------|-------------------------------------|-------|-----------------------------|
| BZ | Brennstoffzelle | FC | Fuel cell |
| KFZ | Kraftfahrzeug | | |
| PKW | Personenkraftwagen | | |
| Stack | Stapel aus Einzelzellen | Stack | Stack |
| PEM | Protonenleitende Elektrolyt Membran | PEM | Proton exchange membrane |

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bereitstellung von konditionierter Prozeßluft für den Betrieb luftatmender Brennstoffzellensysteme, wobei die Prozeßluft über eine Zuführungsleitung, in der ein Verdichter angeordnet ist, komprimiert zugeführt und über eine Abführungsleitung, in der eine Expanderstufe angeordnet ist, abgeführt wird, und wobei der Verdichter, die Expanderstufe und zumindest ein Elektromotor auf einer gemeinsamen Welle angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Expanderstufe (16) ein variables Schluckvermögen aufweist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß stromauf der Expanderstufe (16) eine Klappe (32), über die bei anliegendem Unterdruck Umgebungsluft angesaugt wird, vorgesehen ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektromotor (30) vom Brennstoffzellensystem mit Spannung versorgt wird und daß zusätzlich ein Startermotor (28), der von einer Starterbatterie (9) mit Spannung versorgt wird, auf der gemeinsamen Welle (20) angeordnet ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektromotor (30) ein permanent erregter Synchronmotor ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der Luftzuführungsleitung eine Vorrichtung zur Zufuhr von Wasser vorgesehen ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zur Zufuhr von Wasser als Einspritzdüse (10) ausgebildet ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß stromab der Einspritzdüse (10) ein weiterer Luftbefeuchter (14) vorgesehen ist.
8. Verfahren zur Bereitstellung von konditionierter Prozeßluft für den Betrieb luftatmender Brennstoffzellensysteme nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchsatz der Prozeßluft über die Drehzahl des Verdichters (6) und der Druck im Prozeßluftsystem über das Schluckvermögen der Expanderstufe (16) auf vorgegebene Sollwerte eingestellt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur der Prozeßluft vor dem Eintritt in die Brennstoffzelle (12) durch dosierte Einspritzen von Wasser gleichzeitig gekühlt und befeuchtet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß beim Start des Brennstoffzellensystems der Verdichter (6) solange durch den Startermotor (28) angetrieben wird, bis ein minimaler Luftvolumenstrom und ein minimaler Betriebsdruck zur Verfügung steht und daß anschließend der Elektromotor (30) gestartet und der Startermotor (28) abgeschaltet wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

